

Le progiciel Thermoptim®

Le progiciel Thermoptim (www.thermoptim.org) fournit un environnement de modélisation intégrant de manière profondément interconnectée un éditeur de schémas / écran synoptique (figure 1), des diagrammes interactifs (figure 2), des fonctions de simulation et une méthode d'optimisation basée sur la méthode du pincement. Son objectif est double : faciliter et sécuriser la modélisation des technologies de conversion de l'énergie.

Etant donné que les celles-ci se présentent comme des assemblages de composants reliés entre eux, l'environnement de modélisation combine approche systémique et démarche analytique et/ou empirique classique :

- chaque élément fonctionnel est représenté par un type primitif de Thermoptim approprié (corps, point, transformation, nœud, échangeur) possédant des caractéristiques propres modifiables et des variables de couplage ;

- le système complet est modélisé par assemblage de ces types grâce à une interface visuelle interactive ;

- la simulation du système complet est ensuite gérée par un moteur de recalcul automatique qui exploite les propriétés systémiques implicitement décrites lors de la modélisation.

Alors que traditionnellement on considère la thermodynamique comme une matière ardue et l'étude des technologies énergétiques comme difficile, on simplifie grandement les choses si on commence par dissocier la représentation globale du système, généralement assez simple, de l'étude de ses différents composants considérés individuellement.

La représentation d'ensemble se révèle très utile sur le plan qualitatif : elle est visuelle et permet de bien comprendre le rôle joué par chaque composant dans le système complet. Sur le plan didactique, elle est essentielle pour bien assimiler les principes de conception de ces technologies. Une fois que l'on a bien à l'esprit la structure interne d'un moteur ou d'un appareil frigorifique, l'étude du comportement de l'un de ses composants est facilitée parce que l'on sait comment il s'insère dans le tout et quelle est sa contribution au fonctionnement global.

Si l'on dispose d'un environnement graphique approprié comme celui de Thermoptim, la structure interne du système peut être décrite très facilement. On obtient ainsi une représentation qualitative, très parlante pour l'ingénieur, qu'il ne reste plus ensuite qu'à quantifier en paramétrant les propriétés thermodynamiques des différents composants puis en les calculant. Grâce à cette démarche séparant les aspects qualitatifs et quantitatifs, Thermoptim permet à ses utilisateurs de calculer très facilement des cycles thermodynamiques même complexes, et ceci sans avoir à écrire une seule équation ou programmer une ligne de code s'ils utilisent les composants prédéfinis dans le noyau du progiciel. Ces composants, que l'on peut qualifier de mono-fonctionnels étant donné qu'ils ne mettent au plus en jeu qu'une seule forme d'énergie (soit mécanique, soit thermique), permettent de représenter de nombreuses technologies énergétiques, mais pas toutes. Lorsque celles-ci mettent en jeu des composants multi-fonctionnels plus complexes (par exemple un désorbeur de machine à absorption liquide), il est possible d'étendre le noyau de Thermoptim en ajoutant des modules externes écrits dans le langage Java, qui en définissent à la fois les équations et l'interface graphique. Ces éléments complémentaires sont chargés dynamiquement lors du lancement du progiciel, et apparaissent dans ses écrans de manière transparente pour l'utilisateur, comme s'ils en faisaient partie intégrante.

Ses fonctionnalités font de Thermoptim un outil particulièrement bien adapté à l'étude des cycles thermodynamiques mis en œuvre dans les technologies énergétiques, et lui permettent ainsi de :

- motiver les débutants en évitant qu'ils ne soient rebutés par les difficultés calculatoires tout en leur permettant de traiter des exemples complexes et réalistes (il est utilisé dans plus d'une centaine d'établissements d'enseignement supérieur) ;

- offrir à des utilisateurs confirmés un environnement de calcul puissant et convivial leur permettant de construire visuellement des modèles de nombreux systèmes énergétiques, des plus simples comme un réfrigérateur aux plus complexes comme des centrales électriques à cycle combiné à gazéification de charbon intégrée mettant en jeu plusieurs centaines d'éléments.

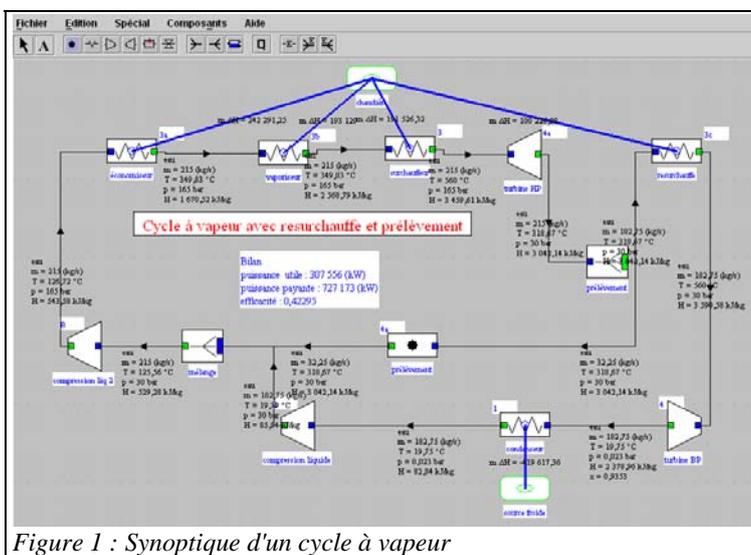


Figure 1 : Synoptique d'un cycle à vapeur

Non seulement une telle manière de faire simplifie notablement la démarche de modélisation et facilite ultérieurement l'utilisation et la maintenance du modèle, mais surtout elle sécurise sa construction en automatisant l'établissement des couplages entre les différents éléments qui le composent et en garantissant leur cohérence.

Principales fonctionnalités du simulateur

Thermoptim permet de calculer automatiquement l'état complet (température, pression, volume massique, enthalpie, énergie interne, entropie, exergie, titre) de différents fluides, qui peuvent être des gaz idéaux ou des vapeurs condensables. Ces fluides peuvent subir diverses transformations, comme les suivantes incluses dans le noyau commun :

- des compressions et des détentes, en système ouvert ou fermé. Elles peuvent être adiabatiques ou polytropiques, et sont caractérisées par leur rendement isentropique ou polytropique ;
- des combustions, elles aussi en système ouvert ou fermé, à pression imposée, volume imposé ou température constante. Le combustible peut être introduit dans la chambre de combustion séparément du comburant, ou bien prémélangé. La dissociation du dioxyde de carbone peut être prise en compte ;
- des laminages isenthalpiques ;
- des échanges de chaleur entre fluides, le progiciel pouvant calculer le produit UA du coefficient d'échange thermique par la surface de l'échangeur, pour des configurations à contre-courant, co-courant, à courants croisés ou du type (p-n).

Pour représenter les réseaux de fluides auxquels on a recours, on définit des nœuds, en pratique des mélangeurs, des diviseurs ou des séparateurs, assurant la conservation du débit et celle de l'enthalpie. Les autres éléments (compresseurs, organes de détente, chambres de combustion, échangeurs) peuvent leur être aisément connectés.

Des mélanges de fluides peuvent ainsi être réalisés, conduisant à la création de corps composés, considérés comme des gaz idéaux. Thermoptim permet en particulier de traiter les gaz humides, mélanges d'un gaz sec et de vapeur d'eau susceptible de se condenser, et propose six types de transformations particulières à ce genre de mélange (chauffage, refroidissement, humidification adiabatique ou non, soufflage, dessiccation).

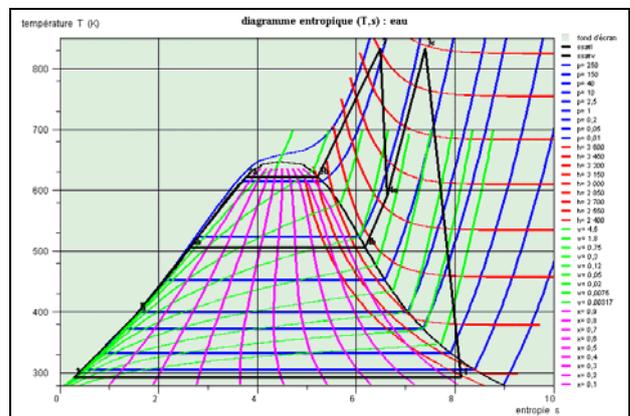


Figure 2 : Cycle à vapeur dans un diagramme entropique

Le progiciel possède une base de données des propriétés thermodynamiques des corps les plus couramment rencontrés en pratique. L'ensemble des éléments composant le système étudié est regroupé sous forme de projet, et peut être facilement manipulé grâce à des interfaces appropriées.

Le simulateur de Thermoptim calcule pas à pas les différents éléments d'un projet. Il s'agit d'un mode de calcul séquentiel, qui le distingue d'autres environnements de modélisation (matriciels) dans lesquels l'ensemble des équations du problème est résolu simultanément. Cette manière de faire présente l'avantage qu'il est beaucoup plus facile de calculer successivement les éléments un par un que de résoudre le système complet d'un seul coup. En revanche, elle induit deux difficultés : d'une part il peut être nécessaire d'itérer les calculs un certain nombre de fois pour trouver la bonne solution, notamment si le système est couplé, et d'autre part, pour un projet un peu complexe, la question se pose de savoir dans quel ordre les calculs doivent être effectués. Pour résoudre cette dernière difficulté, un ensemble d'algorithmes a été mis au point. Appelé le *moteur de recalcul automatique* de Thermoptim, il constitue un élément clé de la version Java du progiciel. Un écran particulier permet de suivre les étapes des recalculs, et de s'assurer ainsi de la pertinence de la modélisation.

Mécanisme d'extension du noyau par ajout de classes externes

L'interfaçage de Thermoptim avec des **classes** (éléments de code Java) **externes** permet de faciliter l'inter-opérabilité du progiciel avec l'extérieur, surtout avec d'autres applications développées sous Java. L'intérêt est double :

- pouvoir, comme indiqué ci-dessus, réaliser des extensions de Thermoptim à partir du noyau commun. C'est ainsi qu'un utilisateur peut ajouter ses propres corps ou des composants non disponibles dans le noyau ;
- pouvoir piloter Thermoptim à partir d'une autre application, soit pour guider un utilisateur (tuteur intelligent), soit pour contrôler l'exécution du code (pilotage ou régulation, accès aux bibliothèques thermodynamiques)...

Distribution de Thermoptim

Thermoptim est aussi bien utilisé dans l'industrie et l'ingénierie que dans les laboratoires de recherche et les établissements d'enseignement.

Plusieurs versions de Thermoptim sont distribuées par la société S4E2 (www.s4e2.com), qui commercialise le progiciel, avec des fonctionnalités variables en fonction des besoins des utilisateurs.

Une version de démonstration est librement disponible en téléchargement, sur le site de S4E2. Elle permet de relire tous les fichiers de travail de Thermoptim (fichiers de schémas et de projet, ainsi que fichiers de tracé de cycles), d'effectuer des modifications de paramétrage des modèles et de les recalculer, mais les modifications ne peuvent pas être sauvegardées.

Cette version de démonstration est très utilisée pour les besoins de formation, pour lesquels elle suffit tant que les apprenants n'ont pas à construire leurs modèles.